

# Прогнозирование ледовой обстановки и оптимального маршрута прохождения судов в арктических широтах для безопасного судовождения

А. В. Чирков<sup>1</sup>, кандидат геолого-минералогических наук,

Д. С. Ковалев<sup>2</sup>, С. Г. Копосов<sup>3</sup>,

Ю. Г. Кутинов<sup>4</sup>, доктор геолого-минералогических наук

Центр космического мониторинга Арктики Северного (Арктического)

федерального университета им. М. В. Ломоносова, Архангельск

ФГБУН Институт экологических проблем Севера Уральского отделения РАН, Архангельск

С. В. Шевцова<sup>5</sup>

Центр космического мониторинга Арктики Северного (Арктического)

федерального университета им. М. В. Ломоносова, Архангельск

*Рассмотрены вопросы использования данных дистанционного зондирования Земли для мониторинга ледовой обстановки на акватории арктических морей. На основе методик и наработок, использованных при информационно-навигационном обеспечении морских полярных экспедиций, авторами сформирован ряд предложений, необходимых при создании масштабной системы обеспечения ледовой проводки и навигации по маршруту Северного морского пути.*

**Ключевые слова:** космический мониторинг, Арктический плавучий университет, морские полярные экспедиции, геоинформационная поддержка.

## Использование данных дистанционного зондирования Земли для мониторинга ледовой обстановки в ходе экспедиций Северного (Арктического) федерального университета им. М. В. Ломоносова

Различные виды хозяйственной и научно-исследовательской деятельности в акватории арктических морей не только напрямую зависят от ледовых условий, но зачастую и определяются ими. Сезонные и межгодовые изменения площади распространения льда ограничивают свободу мореплавания, создают трудности при производстве изысканий и работ на шельфе [3]. Система мониторинга морских льдов на арктических территориях, используемая Центром космического мониторинга

Арктики (ЦКМА) Северного (Арктического) федерального университета им. М. В. Ломоносова (САФУ), обеспечивает сбор, обработку и компиляцию данных из возможно большего числа источников [4; 5; 6]. Комплексно используются как общедоступные (некоммерческие) источники данных, так и предоставляющие информацию на коммерческой основе по предварительному заказу. В 2012 г. в ходе экспедиционного рейса «Плавучего университета» [1] система ледового мониторинга ЦКМА прошла предварительную проверку. В процессе экспедиции предоставлялась оперативная информация о ледовой обстановке, прогнозные метео данные. Низкая пропускная способность каналов связи в условиях высоких арктических широт осложняла доставку полного пакета данных оперативного ледового прогноза, возникали сложности и при интерпретации поставленной информации при отсутствии специалиста на судне. В 2013—2014 гг. в состав экспедиции «Арктический плавучий университет» был включен специалист ЦКМА для обеспечения приема и интерпретации информации по ледовой обстановке,

<sup>1</sup> e-mail: a.chirkov@narfu.ru.

<sup>2</sup> e-mail: d.kovalev@narfu.ru.

<sup>3</sup> e-mail: s.koposov@narfu.ru.

<sup>4</sup> e-mail: y.kutinov@narfu.ru.

<sup>5</sup> e-mail: s.hardaminova@narfu.ru.

сбора и формирования прогнозной метеоинформации. С использованием возможностей двухстороннего обмена данными с научно-исследовательским судном (НИС) в ЦКМА осуществлялась геоинформационная поддержка экспедиции в течение всего рейса.

Основным устройством для определения точного местоположения НИС «Профессор Молчанов» в рамках проводимого исследования является комбинированный ГЛОНАСС/NavStar терминал-трекер FORT-300GL, снабженный внешней чувствительной навигационной антенной и способный одновременно принимать сигналы двух основных навигационных спутниковых систем — ГЛОНАСС (Россия) и NAVSTAR (США). Благодаря одновременному приему навигационных сигналов двух различных систем устройство обеспечивает высокую точность определения местонахождения НИС даже в условиях высоких широт Арктики.

Центр космического мониторинга Арктики использует комплекс для приема информации с космических аппаратов дистанционного зондирования Земли «Унискан-36» и «Алиса-С» (ИТЦ «СКАНЭКС») [6]. Данные с приемной антенны поступают на приемные станции ЦКМА, производятся запись, предварительная обработка и каталогизация принятой информации. Вся информация помещается в архив для дальнейшего использования отделом тематической обработки данных и предоставления полученного в результате продукта заказчику. В рейсах экспедиций «Арктический плавучий университет» в качестве заказчика выступает НИС «Профессор Молчанов».

Для приема оперативной информации по ледовой обстановке из ЦКМА на борту судна, для планирования и заказа спутниковых съемок по маршруту экспедиции и для оперативного перепланирования в случае внесения изменений в маршрут необходим широкополосный канал доступа в Интернет, поскольку для получения детальных снимков по ледовому прогнозу и подробных ледовых карт-схем (чем выше качество и детализация космоснимка, тем больше его объем), необходимо загрузить значительный объем информации. При составлении прогнозных метеокарт по данным NOAA используется международный бинарный формат GRIB (GRIB2). Доступ к массиву GRIB-данных также осуществляется через Интернет. Для работы с геопорталом ЦКМА, публикации информации о местоположении НИС и сопутствующего тематического контента (например, фото- и видеохроники ключевых событий экспедиционного рейса) доступ к Интернету просто необходим. В качестве основного канала связи с ЦКМА будет использоваться широкополосный доступ к Интернету, уже реализованный на НИС благодаря установке аппаратуры спутникового комплекса VSAT. Доступ к Интернету непосредственно в помещениях судна осуществляется с помощью беспроводного подключения.

В качестве резервного оборудования, способного предоставлять доступ к Интернету (резервный канал связи), используется спутниковый телефон «Iridium Xtreme 9575». Особенностью этого устройства является встроенный NAVSTAR-приемник, благодаря которому даже при отсутствии доступа к Интернету имеется возможность оперативной передачи текущего местоположения НИС. Спутниковая связь в условиях высоких арктических широт через группировку космических аппаратов (КА) «Iridium Satellite» может быть неустойчивой, поэтому также будут использоваться переносная внешняя антенна и стационарная Iridium-антенна научно-исследовательского судна.

Для обеспечения уверенного приема сигнала навигационной группировки космических аппаратов предусмотрено оптимальное размещение приемной антенны, при котором доступна для обзора наибольшая площадь небесной полусферы, вблизи антенны отсутствуют активные источники высокочастотного электромагнитного излучения, нет мертвых зон приема на ключевых участках диаграммы направленности антенны, вызванных наличием экранирующих препятствий.

#### Описание системы мониторинга и основных методик ее применения

К общедоступным источникам данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) относятся зарубежные метеорологические спутники группировок NOAA и EOS («Terra», «Aqua» — данные прибора MODIS), центры предоставления данных математического моделирования климатических процессов «MyOcean», «NCEP Central Operation» [8; 9]. Коммерческие данные предоставляются непосредственно операторами спутников (MDA, CSA, «SpotImage»), а также различными центрами обработки данных (ЦОД) с предоставлением ранжированного доступа к тематической информации.

При разработке собственной системы мониторинга ледовой обстановки в акватории арктических морей Центр космического мониторинга Арктики осуществляет сбор и обработку данных из общедоступных источников, выполняет заказы на прием радарных и оптических спутниковых снимков с зарубежных КА. Центр принимает в режиме, близком к реальному времени, данные с КА NOAA, «Terra/Aqua Modis», «Suomi NPP», «Radarsat-2», «Eros-B» и «Электро-Л». Архив насчитывает более 60 тыс. снимков с перечисленных выше КА, а также со SPOT-4, SPOT-5 и «Radarsat-1».

Американская спутниковая система NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration — Национальное управление океанических и атмосферных исследований) состоит из:

- геостационарных спутников GOES, предназначенных для краткосрочного и сверхкраткосрочного прогнозирования и мониторинга текущей метеорологической обстановки;

- спутников POES на солнечно-синхронной орбите, которые предоставляют информацию для более долгосрочных прогнозов.

Данные со спутников GOES и POES позволяют производить глобальный мониторинг погодной обстановки. Полученные спутником данные накапливаются в бортовом запоминающем устройстве (накопителе), а затем передаются в центры приема Фэрбанкс (США, Аляска) и Уоллопс Айленд (США, Вирджиния). Данные полярно-орбитальных спутников NOAA используются для долгосрочных прогнозов погоды, мониторинга атмосферы и погодных явлений в GFS-модели, а также для обеспечения безопасности полетов (в том числе для обнаружения облаков вулканического пепла) и безопасности водного транспорта (тематический мониторинг и прогнозирование ледовой обстановки).

Аббревиатура GFS расшифровывается как Global Forecast System (глобальная система прогнозирования). Она оперируется NCEP (National Centers for Environmental Prediction — национальными центрами предсказания окружающей среды), которые являются подразделениями NOAA. GFS-модель обновляется четыре раза в день (00:00, 06:00, 12:00 и 18:00 UTC) на 384 ч (с пространственным разрешением в 27 км на 192 ч и затем с меньшим разрешением до 384 ч). Файлы с данными GFS, которые на данный момент предоставляются NOAA, имеют разрешение 0,5°. Модель GFS рассчитывает прогнозные значения более 70 климатических параметров, с учетом расчета многих из них для разных уровней атмосферы общее количество переменных превышает 500.

Под данными MODIS подразумеваются данные одноименного 36-канального спектрорадиометра, который является одним из основных инструментов на борту спутников «Terra» и «Aqua». Спутники являются частью программы NASA EOS (Earth Observing System). EOS — научная информационная сборочная система и система хранения и поиска данных, поддерживающая скоординированную серию полярно-орбитальных спутников и спутников на орбитах с низким наклоном, предназначенных для долгосрочных глобальных наблюдений за поверхностью земли, биосферой, атмосферой и океанами.

Прибор MODIS относится к разряду гиперспектральных радиометров. Съемка выполняется в полосе 2330 км одновременно в 36 спектральных зонах: видимого света, ближнего инфракрасного (ИК), среднего инфракрасного и теплового инфракрасного диапазонов с пространственным разрешением 250, 500 и 1000 м соответственно и радиометрическим разрешением до 12 бит на один канал.

Центр «MyOcean» организован при содействии Европейской комиссии и Европейского космического агентства. Центр предназначен для сбора и обработки спутниковой информации по океаническим просторам и акваториям внутренних морей.

Расчет прогноза параметров арктических водных пространств осуществляется с помощью математической модели TOPAZ4, которая, в свою очередь, основана на последней версии модели HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model), разработанной в 2002 г. TOPAZ4 осуществляет расчет и прогноз таких параметров, как фракция льда, мощность ледяного покрова, скорость дрейфа ледяных полей, уровень и соленость моря, скорость течений и ряда других, менее существенных при экспресс-прогнозе.

Дистанционное зондирование Земли при помощи спутниковых радиолокационных систем является одним из основных методов наблюдений морских льдов в региональном масштабе. Главным преимуществом данного метода, несомненно, является независимость наблюдений от облачности и освещенности. Радиолокаторы имеют собственный источник излучения с длиной волны в 10 тыс. раз больше, чем в видимом диапазоне. По этой причине они не зависят от солнечной освещенности, а длинные волны проникают сквозь облачность и осадки. Этот фактор особенно важен для мониторинга морских льдов в полярных областях, где облачность, туманы и темнота значительно ограничивают использование данных видимого и ИК-диапазонов.

Радиолокационные изображения имеют ряд специфических свойств, отличающих их от изображений видимого и ИК-диапазонов:

- радиолокационные изображения зависят от неровностей поверхности;
- на радиолокационный сигнал влияют влажность и диэлектрические свойства поверхности, определяемые ее комплексной диэлектрической проницаемостью;
- радиолокационные системы используют поляризованные сигналы и могут измерять поляризационные зависимости отраженного микроволнового импульса;
- радиолокационное изображение характеризуется наличием спекл-шума, обусловленного когерентной природой этой системы;
- радиолокационные изображения имеют определенные геометрические искажения по дальности, такие как наложение и затемнение;
- радар с синтезированной апертурой чувствителен к движению объектов в азимутальном направлении.

Для решения задач ледового мониторинга (обеспечения оперативными данными о ледовой обстановке экспедиций «Арктический плавучий университет») в ЦКМА используются данные с КА «Terra/Aqua Modis» и радиолокационного спутника с синтезированной апертурой «Radarsat-2». Архивные данные съемки участков поверхности, по которым осуществлялась навигация НИС «Профессор Молчанов» в 2012, 2013 и 2014 гг., могут использоваться как прогнозные для предварительной оценки ситуации и долгосрочного планирования съемки потенциально опасных областей [2].

Первичная обработка принимаемых данных происходит в автоматическом режиме на поставляемых оператором спутника серверах и программном обеспечении. Программное обеспечение позволяет создавать продукты в соответствии с режимом съемки с заданием вручную минимального количества параметров, таких как сдвиг для решения доплеровской неоднозначности и выбора типа подстилающей поверхности (льды, открытая вода и др.).

Информация о морских льдах формируется в виде архивов растровых, графических и векторных цифровых ледовых карт. Они предназначены для точного отображения пространственного распределения и характеристик ледяного покрова на морях, а именно зон различной общей сплоченности, частной сплоченности возрастных стадий льда, форм ледяных полей, каналов, разводий и других явлений и образований. При составлении ледовых карт спутниковые изображения интерпретируются визуально специалистом ЦЖМА.

Прогнозные данные NCEP доступны для скачивания с серверов организации. Прогнозные данные для таких параметров, как ветер и температура воздуха, рассчитываются по модели GFS, в то время как для состояния льда математической прогнозной модели в NCEP не существует, по крайней мере в открытом доступе. Для загрузки данных о состоянии ледяного покрова необходимо указать только дату и координаты участка.

Состояние ледяного покрова в данных NOAA описывается переменной ICEC (ice concentration), принимающей значения в интервале от 0 (открытая вода) до 1 (сплошной лед). Данные о силе и направлении ветра описываются переменными UGRD и VGRD. Это векторные величины, полученные при разложении вектора воздушного потока по осям X и Y (север-юг, запад-восток).

Для формирования карты проводится конвертация данных в формат, доступный гео-

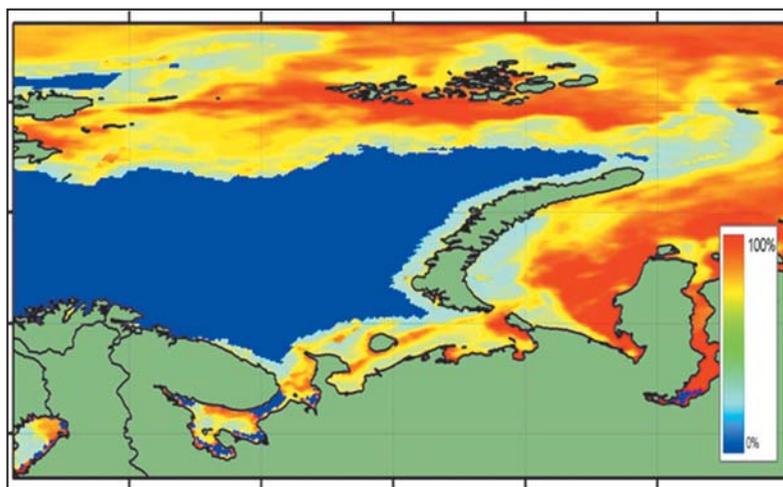


Рис. 1. Концентрация ледяных полей и границы их распространения

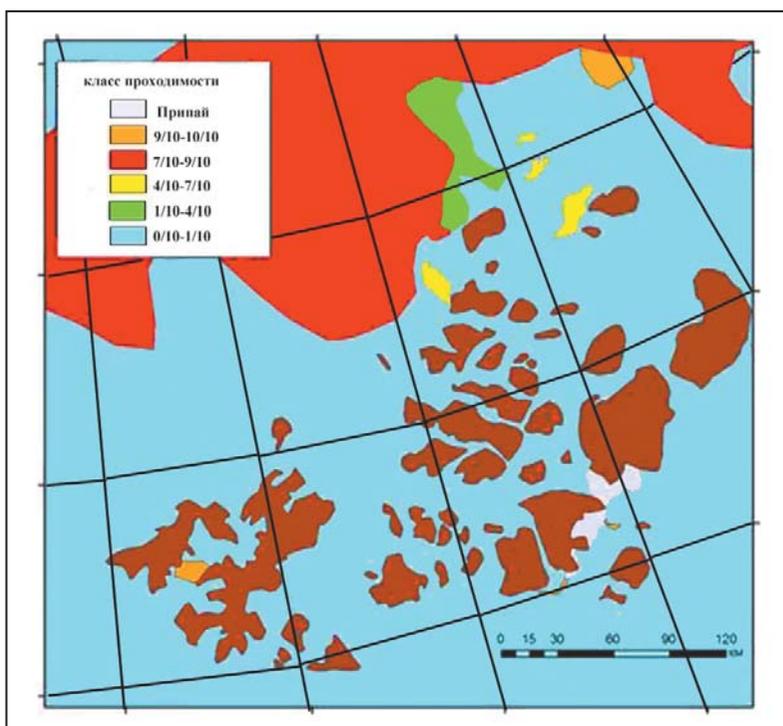


Рис. 2. Ледовая карта-схема по классу проходимости льдов судами

информационной системе ArcGIS, в которой создаются тематические карты. Визуализация концентрации льда осуществляется в растровом формате (рис. 1). Цветная шкала позволяет наглядно оценить концентрацию ледяных полей и границу распространения льда. Векторным вариантом визуализации данных является схема распространения льда (рис. 2).

Векторизация данных осуществляется в полуавтоматическом режиме, последующую классификацию сегментов проводит оператор, и точность классификации зависит от его опыта.

Отдельно от ледовой обстановки обрабатываются метеоданные. Поскольку движение ледяных полей в открытом морском пространстве обусловлено направлением и силой ветра, необходимо визуализировать данные движения воздушных масс в удобной для восприятия форме.

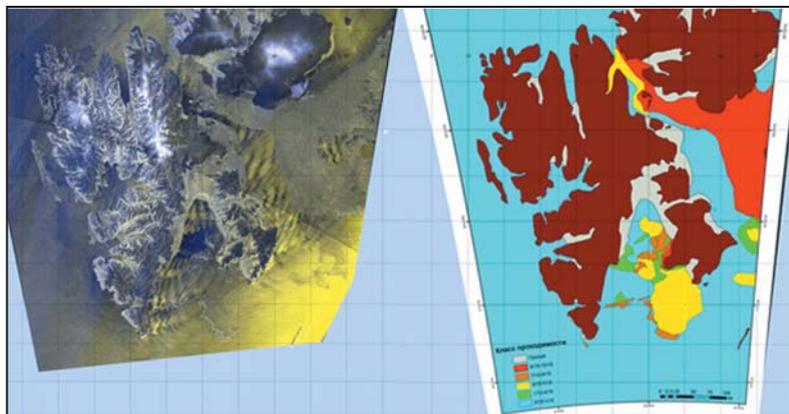


Рис. 3. Данные GFS по направлению ветра

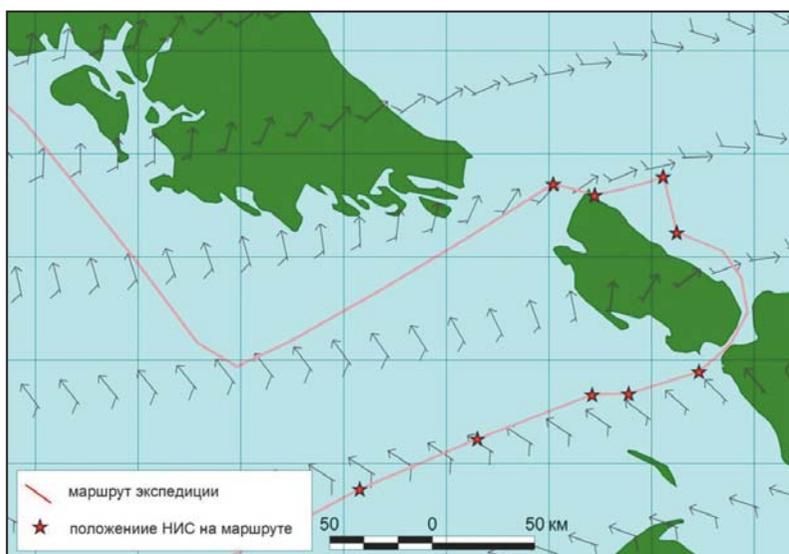


Рис. 4. Пример синтезированного RGB-изображения (раскладка по каналам: Red – HV, Green – HV, Blue – HH), сформированного на основе двухполяризационного снимка, и схема ледовой обстановки, созданная по проведенной съемке

При помощи специальных утилит проводится сложение ортогональных векторов, на которые разложен вектор ветра. Далее для каждой точки сетки наблюдения в отдельные значения выделяются направление и скорость воздушного потока. Визуализация может осуществляться путем создания на карте стрелок с ответвлениями на хвостовой части, каждое из которых означает скорость 5 м/с (рис. 3).

Обработка и визуализация полученных данных «МуОсеап» производится аналогично данным NOAA. Толщина льда визуализируется в растровом формате с указанием минимальных и максимальных значений. Также создается шейп-файл с границей распространения ледяных полей. Глубина прогноза в нашем случае составляет 3 сут (максимально 6 сут). С учетом ежедневного обновления данных интервала в 3 сут вполне достаточно.

Оптические методы дистанционного зондирования являются косвенными, так как в качестве непосредственно определяемого параметра выступают интенсивности отражения солнечного света, а не непосредственно характеристики льдов. Процесс дешифрирования представлен в данном случае переходом от яркости изображения к характеристикам морских льдов.

Такой процесс условно можно разделить на стадии: обнаружения, распознавания и интерпретации ледовых характеристик на изображениях. Стадия обнаружения — сбор, констатация наличия объекта, его принадлежность к определенному типу ледовых образований (например, поле льда, канал/трещина и т. д.).

Необходимо отметить, что информация о ледовой обстановке в конкретном районе по данным ДЗЗ КА оптического диапазона может быть получена только при отсутствии облачности. Между тем 80% акватории Северного Ледовитого океана обычно покрыто облаками, аналогичная ситуация характерна и для отдельных акваторий арктических морей. Поэтому для получения достоверной информации осуществляется ежедневный прием данных со спутников «Терра» и «Аква» два раза в сутки. Наиболее информативное изображение с минимальной облачностью используется как базовое, на его основе формируется схема ледовой обстановки. Данные с безоблачных участков на последующих снимках применяется для корректировки схемы. Информация о ледовой обстановке передается на борт НИС ежедневно.

Возможность определения характеристик льдов напрямую зависит от пространственного разрешения снимка. По изображению с MODIS с пространственным разрешением 250 м/пик можно проводить оценку таких деталей ледовой обстановки, как заприпайные полыньи, площадь и границы припая, каналы, формы и размеры льдин.

Дешифрирование морских льдов по спутниковым радиолокационным изображениям включает процессы обнаружения, распознавания и интерпретации параметров льдов [3]. Для обнаружения и распознавания используются такие признаки, как величина обратного рассеяния и текстура, а также структура, размер и форма объектов. Основным прямым дешифровочным

признаком является яркость радиолокационного изображения, которая определяется коэффициентом обратного рассеяния воды и морских льдов. На основе различий коэффициентов обратного рассеяния определяются основные виды льдов. Зависимость удельной эффективной площади рассеяния и тона изображения от вида льда, его форм и шероховатости поверхности делает возможным определение ряда параметров морских льдов, тем не менее различные виды льдов могут изображаться одинаковыми тоном и текстурой. На типичных радиолокационных изображениях многие виды льдов выглядят одинаково при различных поляризациях и углах зондирования.

После обработки радарный снимок используется для создания карт-схем ледовой обстановки.

После двух и более поляризаций существенно возрастает точность классификации морских льдов (рис. 4). Например, открытая вода, молодой и однолетние льды на таком снимке выделяются намного лучше. Зондирование морских льдов осуществляется различными спутниковыми датчиками, и ледовые службы распространяют информацию разными путями. Значительное улучшение достоверности мониторинга ледовой обстановки достигается при комплексном использовании всего спектра доступных данных от прогнозных значений метеоусловий до радарных съемок высокого разрешения.

В Центре космического мониторинга Арктики анализ и прогноз ледовой обстановки осуществляется следующим образом:

- Ежедневные загрузки и обработки данных NCEP (NOAA). В рейсах «Арктического плавучего университета» 2013 и 2014 гг. загрузка и интерпретация данных производилась специалистом ЦКМА, присутствовавшим в составе экспедиции на борту.
- Ежедневные загрузки и обработка данных «MyOcean».
- Визуализация данных NCEP и «MyOcean» в векторной и растровой форме. Операции производятся специалистом ЦКМА непосредственно на борту НИС.
- Два раза в сутки в ЦКМА осуществляется прием данных со спутников «Terра» и «Аqua».
- Обработка данных «Terра»/«Аqua» и формирование геопривязанного раstra. Тематическая обработка и передача данных на борт судна.
- С определенной периодичностью проводится съемка спутником «Radarsat-2» ледовой обстановки на территории Баренцева и Карского морей в соответствии с данными о предполагаемом маршруте и запросами по участкам территорий, отправлявшимися с борта НИС.
- Информация в векторной и растровой форме публикуется на геопортале.

На основании комплекса собранной информации производятся работы с целью отработки и проверки методик и навыков картирования, оценки и классификации льдов. За основу приняты методики,

используемые в Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте [7], и накопленный там опыт аналогичной работы. Это позволяет осуществить в полной мере геоинформационную поддержку в ходе совместной научной экспедиции САФУ и Северного управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды на НИС «Профессор Молчанов» по маршруту «Архангельск — Новая Земля — Земля Франца-Иосифа — Архангельск» [1]. В число участников экспедиции включен специалист ЦКМА, осуществлявший в течение всего рейса:

- прием и подготовку метеорологических данных NOAA и «MyOcean»;
- формирование прогнозных карт по основным метеоданным (направлению и скорости ветра, температуре, облачному покрытию, атмосферному давлению, влажности, высоте волны), прием пакетов подготовленных данных о ледовой обстановке на маршруте следования судна;
- тематическую обработку данных ДЗЗ по принятой ЦКМА спутниковой информации;
- подготовку рекомендаций по планированию и уточнению дальнейшего маршрута экспедиции на основании прогнозных метеоданных и оперативных карт ледовой обстановки районов интереса, оперативную передачу информации по актуальным координатам НИС «Профессор Молчанов»;
- подготовку тематических геопривязанных фотоматериалов о ходе экспедиции для оперативной публикации на геопортале;
- обслуживание и контроль ГЛОНАСС-терминалов Fort-300GL (основного и дублирующего), осуществляющих сбор и запись массива геоданных; сбор данных с автоматической метеостанции НИС; синхронизацию с массивом геоданных «черных ящиков» ГЛОНАСС-терминалов.

Дрейфующие льды под влиянием ветра и течений находятся в постоянном движении. Всякая перемена ветра над районом, покрытым дрейфующим льдом, вызывает изменения в распределении льда — тем больше, чем сильнее и продолжительнее действие ветра. По многолетним наблюдениям над ветровым дрейфом сплоченного льда различными исследователями [1; 3; 8; 9] выявлено наличие прямой зависимости от вызвавшего его ветра. Направление дрейфа льда отклоняется от направления ветра приблизительно на  $30^\circ$  в северном полушарии вправо, а в южном — влево, скорость дрейфа связана со скоростью ветра ветровым коэффициентом, равным приблизительно 0,02. Дрейф отдельных льдин (мелких айсбергов, их обломков и небольших ледяных полей) отличается от дрейфа сплоченного льда. Скорость его больше, так как ветровой коэффициент возрастает от 0,03 до 0,10.

При прогнозировании направления движения дрейфующих льдов будут использоваться расчетные данные NCEP (NOAA) по ветру. Для прогноза направления и величины дрейфа льда на следующие сутки

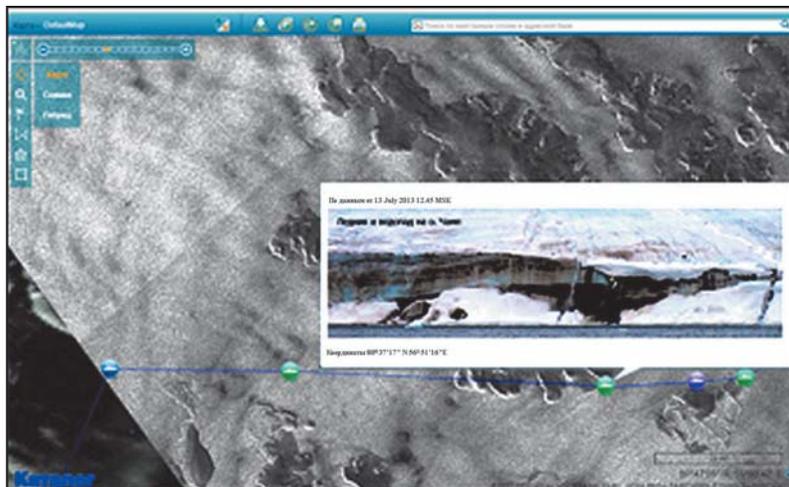


Рис. 6. Образец публикации информации об экспедиции на геопортале ЦКМА

проводится осреднение прогнозируемого вектора силы ветра для интервала в 24 ч (шаг прогноза — 3 ч). В период проведения мониторинга ледовой обстановки выполняется несколько десятков расчетов среднесуточной составляющей ветра. Данные расчетов сравнивались с реальным смещением ледяных полей, полученных по спутниковым снимкам в процессе проведения экспедиций 2012—2014 гг. Опыт предыдущих экспедиций говорит о высоком коэффициенте точности применяемой методики прогнозирования дрейфа (рис. 5).

Реальное смещение отдельных ледяных полей за сутки составляло около 25 км. Наблюдается практически полное совпадение направления движения дрейфа льда с рассчитанным прогнозным среднесуточным вектором силы ветра. Рассчитанная среднесуточная скорость ветра составила около 7 м/с, коэффициент движения отдельных льдин, таким образом, равен приблизительно 0,04, что укладывается в приведенный ранее интервал.

Для обеспечения доступа к информации по мониторингу ледовой обстановки использовалась публикация необходимых тематических материалов на геопортале <http://geoportal.narfu.ru> с помощью программного обеспечения «ScanEx Web Geomixer» (рис. 6).

После обработки данных ДЗЗ интересующего района были сформированы соответствующие тематические слои, содержащие оперативные данные на указанную дату. Часть информации (как прошедшей тематическую обработку, так и необработанной) поступает на борт через специализированный FTP-сервер ЦКМА. После окончательной обработки специалистом ЦКМА на борту судна данные распечатываются на бумажный носитель и предоставляются капитану рейса на мостик для использования судоводителем и руководителем экспедиционного отряда.

**Предложения по созданию системы мониторинга ледовой обстановки**

На основе методик и разработок, использованных при информационно-навигационном обеспечении экспедиции, авторы сформулировали ряд предложений, связанных с созданием масштабной системы обеспечения

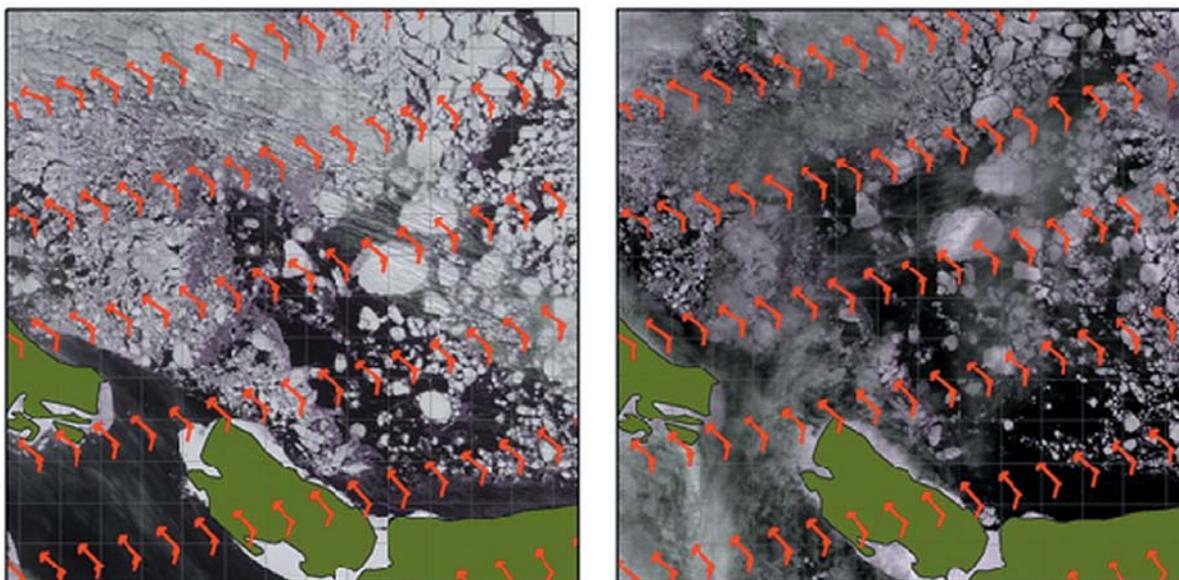


Рис. 5. Результат расчета среднесуточного вектора силы ветра на участке пролива Карские ворота (интервал между снимками — 23 ч)

ледовой проводки и навигации по маршруту Северного морского пути [4; 5; 6].

В первую очередь необходимо отказаться от практики «запрос-ответ», когда заявка на получение информации по ледовой обстановке с борта судна выполняется непосредственно после получения заказа, поскольку реальна ситуация, когда выполнить заказ в требуемые сроки физически невозможно. Причины могут быть различными: неготовность необходимого пакета данных для предварительного анализа обстановки, невозможность провести оперативную съемку требуемого участка и пр. При этом «запрос» часто увязан с возникновением чрезвычайной ситуации, и невозможность осуществить информационную поддержку может привести к потерям технического и репутационного характера, не говоря уже о человеческих жертвах.

По мнению авторов, система ледового мониторинга должна существовать на базе нескольких центров и функционировать на постоянной основе с обновлением ситуации по ледовой обстановке еженедельно в спокойные периоды с переходом на ежедневный режим обновления данных в зимне-весенний период на опасных участках Северного морского пути.

Основой для системы ледового мониторинга должны быть данные радарных съемок с космических аппаратов как наиболее информативные и доступные на текущий момент. Отсутствие отечественных аппаратов соответствующего типа диктует необходимость использовать на данном этапе зарубежные спутники. Соответственно разработка, запуск и введение в эксплуатацию российской радарной системы гражданского назначения — насущная задача для создания эффективной и независимой системы мониторинга ледовой обстановки.

Информация должна передаваться на борт судна через систему спутниковой связи, что также ставит задачу создания эффективной системы передачи данных в высоких широтах. Ее разработка и введение в действие необходимо не только в рамках ледового мониторинга, она позволит решить проблему связи и охвата информационным полем всех арктических территорий Российской Федерации.

Пакет данных, передаваемых на борт судна, должен включать текущую ледовую обстановку, ее прогноз на ближайший период, а также информацию метеорологического характера.

Центры мониторинга ледовой обстановки должны работать в общем информационном пространстве по единой методике с формированием на основе имеющейся информации карты ледовой обстановки по всей акватории Северного морского пути.

## Литература

1. [http://www.narfu.ru/science2/expeditions/float-ing\\_university/index.php](http://www.narfu.ru/science2/expeditions/float-ing_university/index.php).
2. Майорова В. И., Гришко Д. А., Чагина В. А., Хардамина С. В. Возможности использования динамических локальных синусоид для краткосрочного прогнозирования ледовой обстановки в проливе Карские ворота по данным космической радиолокационной съемки // Вестн. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. «Естеств. науки». — 2013. — № 1. — С. 117—128.
3. Кутин Ю. Г., Боголицин К. Г., Чистова З. Б. Исследование северных территорий Земли из космоса. — Т. 1. — Архангельск: ИПЦ САФУ, 2012.
4. Кутин Ю. Г., Чирков А. В., Ковалев Д. С. и др. Мониторинг ледовой обстановки: методология, техническое оснащение, перспективы развития // Морской и речной транспорт: приложение № 1/2014 к журналу «Транспорт РФ». — С. 48—51.
5. Кутин Ю. Г., Чирков А. В., Ковалев Д. С. и др. Опыт информационно-навигационного обеспечения морских полярных экспедиций с использованием данных ДЗЗ на примере «Арктического плавучего университета» // Материалы второй международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». — М., 2014. — С. 115—124. — (Труды ВНИИЭМ. «Вопр. электромеханики». Приложение за 2014 г.).
6. Шевцова С. В., Ковалева М. Н., Ковалев Д. С., Копосов С. Г. Создание комплекса космического сопровождения морских полярных экспедиций на примере Арктического плавучего университета САФУ // Земля из космоса. — 2014. — № 2 (18). — С. 45—48.
7. Анализ ледовой обстановки по данным ИСЗ // <http://www.aari.nw.ru/main.php?lg=0>.
8. Ice Service: SAR data, MODIS, NOAA and METOP data, Ice Charts; Ansvarlig redaktør: Heidi Lippestad // [http://www.met.no/Hav\\_og\\_is/English/Activities\\_and\\_tasks/Sea\\_ice/Ice\\_Service/](http://www.met.no/Hav_og_is/English/Activities_and_tasks/Sea_ice/Ice_Service/).
9. Daily monitoring of sea ice cover and dynamics in the Arctic Oceans using satellite Earth observation data // <http://www.nersc.no/data>.